

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-240598

(P2003-240598A)

(43) 公開日 平成15年8月27日 (2003.8.27)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 D 5/14

識別記号

F I

G 0 1 D 5/14

テームト\* (参考)

G 2 F 0 7 7

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2002-36019 (P2002-36019)

(22) 出願日 平成14年2月13日 (2002.2.13)

(71) 出願人 000000033

旭化成株式会社

大阪府大阪市北区堂島浜1丁目2番6号

(72) 発明者 山下 昌哉

神奈川県厚木市岡田3050番地 旭化成株式会社内

(72) 発明者 佐藤 正信

神奈川県厚木市岡田3050番地 旭化成株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一

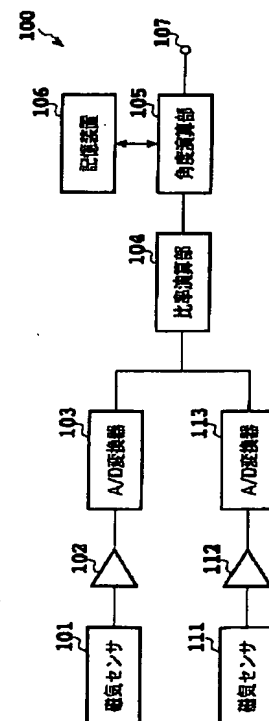
Fターム (参考) 2F077 AA12 CC02 JJ01 JJ08 JJ24  
TT33 TT66 VV02

(54) 【発明の名称】 デジタル角度測定システム

(57) 【要約】

【課題】 センサからの出力値をデジタル変換して演算を行い、高精度な角度測定を行うことができるデジタル角度測定システムを提供する。

【解決手段】 磁気センサ101及び111から出力されたアナログ信号は、アンプ102及び112、センサ101及び111を通り、アナログ/デジタル (A/D) 変換器によりデジタル信号に変換される。比率演算部104は、A/D変換器103及び113からの出力値を除算して、2つの磁気センサの出力の比率を求める。記憶装置106には、2つの磁気センサの出力の比率と、角度との関係を示す表が記憶されている。角度演算部105はこの表を参照して、比率演算部104から出力された比率に対応する角度を求め、端子107に出力する。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁界中における基準位置からの回転角変位に応じた値を出力し、磁束の検出方向を表す感磁軸同士が所定角度を保持している少なくとも2個の磁気センサと、

前記少なくとも2個の磁気センサの各出力値に対応した前記磁界に対する前記磁気センサの回転角変位データを記憶した記憶手段と、

前記少なくとも2個の磁気センサからの出力値に基づいて当該各出力値を演算する演算手段と、

前記演算手段の演算結果に応答する前記記憶手段内の回転角変位データを抽出して出力する手段とを備えたことを特徴とするデジタル角度測定システム。

【請求項2】 前記記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記少なくとも2個の磁気センサの感磁軸同士がなす角度の実測値と前記所定角度とのずれを補償する値であることを特徴とする請求項1に記載のデジタル角度測定システム。

【請求項3】 前記記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記少なくとも2個の磁気センサからの出力値に基づいて求められた値であることを特徴とする請求項1に記載のデジタル角度測定システム。

【請求項4】 前記少なくとも2個の磁気センサの感磁軸同士が保持している所定角度は、ほぼ直角であることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のデジタル角度測定システム。

【請求項5】 前記少なくとも2個の磁気センサは、相対的に回転運動をする固定部及び移動部のいずれか一方に取り付けられ、他方には磁石または周囲の磁界を変化させる磁性体に取り付けられていることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のデジタル角度測定システム。

【請求項6】 前記出力する手段は、前記記憶手段から少なくとも2つの前記回転角変位データを抽出し、該抽出された少なくとも2つの回転角変位データ間を補完することを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のデジタル角度測定システム。

【請求項7】 磁界中における基準位置からの回転角変位に応じた値を出力する少なくとも2個の磁気センサであって、磁束の検出方向を表す感磁軸の各々は前記基準位置からの回転の回転軸に平行であり、前記少なくとも2個の磁気センサのうちの1個を通る前記回転軸の垂線と、前記少なくとも2個の磁気センサのうちの他の1個を通る前記回転軸の垂線とが所定角度を保持している少なくとも2個の磁気センサと、

前記少なくとも2個の磁気センサの各出力値に対応した前記磁界に対する前記磁気センサの回転角変位データを記憶した記憶手段と、

前記少なくとも2個の磁気センサからの出力値に基づいて当該各出力値を演算する演算手段と、

前記演算手段の演算結果に応答する前記記憶手段内の回転角変位データを抽出して出力する手段とを備えたことを特徴とするデジタル角度測定システム。

【請求項8】 前記記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記少なくとも2個の磁気センサの各々を通る前記回転軸の垂線同士がなす角度の実測値と前記所定角度とのずれを補償する値であることを特徴とする請求項7に記載のデジタル角度測定システム。

【請求項9】 前記記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記磁気センサからの出力値に基づいて求められた値であることを特徴とする請求項7に記載のデジタル角度測定システム。

【請求項10】 前記少なくとも2個の磁気センサのうちの1個を通る前記回転軸の垂線と、前記複数個の磁気センサのうちの他の1個を通る前記回転軸の垂線とが保持している所定角度は、ほぼ直角であることを特徴とする請求項7～9のいずれかに記載のデジタル角度測定システム。

【請求項11】 前記少なくとも2個の磁気センサは、相対的に回転運動をする固定部及び移動部のいずれか一方に取り付けられ、他方には磁石または周囲の磁界を変化させる磁性体に取り付けられていることを特徴とする請求項7～10のいずれかに記載のデジタル角度測定システム。

【請求項12】 前記出力する手段は、前記記憶手段から少なくとも2つの前記回転角変位データを抽出し、該抽出された少なくとも2つの回転角変位データ間を補完することを特徴とする請求項7～11のいずれかに記載のデジタル角度測定システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、デジタル角度測定システムに関し、より詳細には、複数個の磁気センサを用い、その出力同士を演算することにより、磁気センサの位置に関する情報を出力するデジタル角度測定システムに関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、磁石が生成する磁界を1つの磁気センサにより検知して、磁界に対する磁気センサの位置を測定する技術が知られている。磁気センサの出力Yに基づいて磁気センサの回転角度 $\theta$ を求める場合、この磁気センサと組み合わせる磁石系としては、出力Yが回転角度 $\theta$ に対して概ね $\sin$ 関数（あるいは $\cos$ 関数）になるものが多く採用される。角度測定は、一般にこの $\sin$ 関数や $\cos$ 関数を直接には用いず、計算の容易化のために直線を用いた近似計算を行う。

【0003】ここで、測定範囲を $\pm 45$ 度に限定し、 $Y = \sin \theta$ との誤差の絶対値の最大値が最も小さくなるように直線の傾きを決めると、

(3)

$$\begin{aligned}\theta &= (1.081 \times 360 \div 2\pi) \times Y \\ &= 61.94 \times Y\end{aligned}$$

となる。

【0004】この方法は、ホール素子またはリニアホールICなどの汎用の磁気センサを磁石と組み合わせるだけでそのまま回転角度センサとして利用でき、磁気センサの出力がそのまま角度の情報を表しているため計算処理が不要であるという利点を有し、最近利用が広まりつつある。しかし、この方法では磁気センサあるいは磁石の温度特性のため、温度変化によって出力が変動し、測定角度が変化してしまう。

【0005】そこで、ICの中に温度referenceを保持しておき、温度特性を補正するように内部処理を行うプログラマブルホールICを使用して、角度測定システムの出力が温度に対してできるだけ一定に保たれるように補正することが多い。しかし、補正を行ったとしても温度変化による角度誤差が1度以下の高精度な測定は困難である。また、上記の方法では角度が±45度以上の範囲では直線近似からの差が大きくなりすぎるので、実用性のある測定を行うことができないという欠点\*20

$$\begin{aligned}\theta &= (0.833 \times 360 \div 2\pi) \times Y/X \\ &= 47.75 \times Y/X\end{aligned}$$

となる。これにより、2つの磁気センサが共通の温度特性を有していれば、共に温度によって同じ比率で出力が変化するため、磁気センサや磁石の温度特性の影響をほとんど受けずに測定することができるという大きな利点がある。

【0008】なお、このような技術は、例えば特開昭54-18768号公報等に記載されている。

【0009】図1は、上述した技術における2つの磁気センサの出力を除算した値を示す図である。一方のセンサが磁場の角度 $\theta$ に対して $\cos \theta$ の値を出力とした場合、他方のセンサは $\sin \theta$ の値を出力することになる。従って、この2つの出力値の除算を行うことにより、 $\tan \theta$ の値を得ることができる。ここで、 $\tan \theta$ は破線で示すように90度近傍で発散するので、45度から135度の間で分子と分母の値を逆転させ、 $\tan \theta$ の値を常に±1の範囲に設定する。これにより、任意の角度での角度測定を行うことができる。

【0010】また、角度センサでは、角度に概略比例するアナログの出力(電圧)をフィードバック制御の回路に用いるか、あるいはセンサ外部で改めてA/D変換してデジタル化して用いている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した複数の出力センサを用いた角度測定では、近似計算の結果に大きな誤差が生じてしまう。

【0012】図2は、三角関数を直線で近似する計算の例を説明するための図である。301は、2つの磁気センサの出力の比率 $\tan \theta$ を135度～225度の範囲

4

(1)

\*がある。

【0006】このような欠点を回避するため、2つの磁気センサを回転軸に対して位相が90度異なる位置に配置し、互いに直交する方向成分の磁界の強さを検知させ、その2つの出力を除算することにより、角度を測定する技術が案出されている。磁気センサの出力Xと、出力Yとの比率 $Y/X$ に基づいて回転角度 $\theta$ を求める場合、磁気センサと組み合わせる磁石系として、出力Xと出力Yが回転角度 $\theta$ に対して $\cos$ 関数と $\sin$ 関数になるような、即ち $Y/X$ が $\tan$ 関数になるようなものが多く採用される。また、測定角度範囲を±45度に限定することによって、 $Y/X = \tan \theta$ をほぼ直線で近似することができる。

【0007】この直線の傾きの決め方にはいくつかの方法が考えられるが、±45度の範囲で近似した直線と $\tan \theta$ との誤差(絶対値)の最大値が最も小さくなるように傾きを決めると、

(2)

で近似した直線を示す。誤差311は、直線301と $\tan \theta$ との差を示す。また、直線302は、1つの磁気センサの出力値 $\cos \theta$ を225度～315度の範囲で近似した値を示す。また、誤差312は $\cos \theta$ と直線302との差を示す。曲線311と曲線312との比較から明らかなように、測定範囲を±45度の90度に限定しても、2つのセンサを用いた場合の誤差の最大値は1つのセンサを用いた場合の誤差の最大値の3倍近くになってしまい、充分な直線性が得られないという問題があった。

【0013】本発明は、このような問題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、磁気センサからの出力値をデジタル変換して演算を行うことにより、高精度な角度測定を行うことができるデジタル角度測定システムを提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、デジタル角度測定システムであって、磁界中における基準位置からの回転角変位に応じた値を出力し、磁束の検出方向を表す感磁軸同士が所定角度を保持している少なくとも2個の磁気センサと、前記少なくとも2個の磁気センサの各出力値に対応した前記磁界に対する前記磁気センサの回転角変位データを記憶した記憶手段と、前記少なくとも2個の磁気センサからの出力値に基づいて当該各出力値を演算する演算手段と、前記演算手段の演算結果に応答する前記記憶手段内の回転角変位データを抽出して出力する手段とを備えたことを特徴とする。

5

【0015】また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記少なくとも2個の磁気センサの感磁軸同士がなす角度の実測値と前記所定角度とのずれを補償する値であることを特徴とする。

【0016】また、請求項3に記載の発明は、請求項1に記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記少なくとも2個の磁気センサからの出力値に基づいて求められた値

【0017】また、請求項4に記載の発明は、請求項1～3のいずれかに記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記少なくとも2個の磁気センサの感磁軸同士が保持している所定角度は、ほぼ直角であることを特徴とする。

【0018】また、請求項5に記載の発明は、請求項1～4のいずれかに記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記少なくとも2個の磁気センサは、相対的に回転運動をする固定部及び移動部のいずれか一方に取り付けられ、他方には磁石または周囲の磁界を変化させる磁性体

【0019】また、請求項6に記載の発明は、請求項1～5のいずれかに記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記出力する手段は、前記記憶手段から少なくとも2つの前記回転角変位データを抽出し、該抽出された少なくとも2つの回転角変位データ間を補完することを特徴とする。

【0020】また、請求項7に記載の発明は、デジタル角度測定システムであって、磁界中における基準位置からの回転角変位に応じた値を出力する少なくとも2個の磁気センサであって、磁束の検出方向を表す感磁軸の各々は前記基準位置からの回転の回転軸に平行であり、前記少なくとも2個の磁気センサのうちの1個を通る前記回転軸の垂線と、前記少なくとも2個の磁気センサのうちの他の1個を通る前記回転軸の垂線とが所定角度を保持している少なくとも2個の磁気センサと、前記少なくとも2個の磁気センサの各出力値に対応した前記磁界に対する前記磁気センサの回転角変位データを記憶した記憶手段と、前記少なくとも2個の磁気センサからの出力値に基づいて当該各出力値を演算する演算手段と、前記演算手段の演算結果に

【0021】また、請求項8に記載の発明は、請求項7に記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記少なくとも2個の磁気センサの各々を通る前記回転軸の垂線同士がなす角度の実測値と前記所定角度とのずれを補償する値であることを特徴とする。

(4)

6

【0022】また、請求項9に記載の発明は、請求項7に記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記記憶手段に記憶された回転角変位データは、前記磁気センサからの出力値に基づいて求められた値であることを特徴とする。

【0023】また、請求項10に記載の発明は、請求項7～9のいずれかに記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記少なくとも2個の磁気センサのうちの1個を通る前記回転軸の垂線と、前記複数の磁気センサのうちの他の1個を通る前記回転軸の垂線とが保持している所定角度は、ほぼ直角であることを特徴とする。

【0024】また、請求項11に記載の発明は、請求項7～10のいずれかに記載のデジタル角度測定システムにおいて、前記少なくとも2個の磁気センサは、相対的に回転運動をする固定部及び移動部のいずれか一方に取り付けられ、他方には磁石または周囲の磁界を変化させる磁性体

【0025】更に、請求項12に記載の発明は、前記出力する手段は、前記記憶手段から少なくとも2つの前記回転角変位データを抽出し、該抽出された少なくとも2つの回転角変位データ間を補完することを特徴とする。

【0026】本発明は、磁石と組み合わせた磁気センサの出力から角度を計算するという条件下で最も大きな効果を発揮する。このような磁気センサの場合、回転軸と磁石あるいは磁気センサの位置ずれが不可避であり、本発明によればその補正まで含めた表を参照して角度を出力するからである。

【0027】また、本発明によれば、磁石の着磁むら等による磁場の不均一や非理想性による誤差も除去できる。

【0028】更に、磁気センサからの出力値が原理的にも三角関数にならない四角い磁石等を用いた角度計算にも適用が可能であるところにも非常に大きな意義がある。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照し、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0030】（第1実施形態）図3は、本発明を適用したデジタル角度測定システムの一例を示す構成図である。デジタル角度測定システム100は、磁気センサ101及び111、アンプ102及び112、アナログデジタル（A/D）変換器103及び113、比率演算部104、角度演算部105、記憶装置106、及び端子107を備えている。磁気センサ101はアンプ102及びA/D変換器103を介して、磁気センサ111はアンプ112及びA/D変換器113を介してそれぞれ比率演算部104へ接続されている。

【0031】2つの磁気センサ101及び111は、磁界中における基準位置からの回転角変位に応じた電圧を出力するホール素子であり、共通の温度特性を有する。

(5)

7

また、比率演算部104及び角度演算部105の機能は、本発明に関わる演算処理を行う演算処理装置(CPU)によって実現される。

【0032】記憶装置106には、2つの磁気センサ101及び111の出力値の比に対応した、磁界に対する2個の磁気センサの回転角変位を示すデータが記憶されている。なお、本実施形態では回転角変位として数値を想定しているが、本発明はこれに限定されず、例えば「北西」等の方位角を示す文字列等であってもよい。

【0033】図4は、図3に示した2つの磁気センサの配置の一例を示す図で、(a)は斜視図、(b)は正面図である。図4において、白抜き矢印は、磁石401とヨークが回転可能な方向を示す。支持部材400は磁石401が生成する磁界の内部に固定されている。磁気センサ101及び111は互いに直交する磁界を測定するホール素子であり、その各々が検出する磁束の方向を表す軸(以下、「感磁軸」という)同士が直交するように支持部材400に取り付けられている。

【0034】なお、本発明を適用したデジタル角度測定システムは、磁気センサが相対的に回転運動をする固定部及び移動部のいずれか一方に取り付けられ、他方に磁石または周囲の磁界を変化させる磁性体に取り付けられることにより、実用に供することが可能となる。従って、図4に示す例では、磁界を回転可能とし、この磁界の内部で固定された部材に取り付けられている磁気センサの例を示しているが、これとは逆に、磁石を固定しておき、その磁界の内部で回転可能な支持部材に磁気センサを取り付けることとしてもよい。

【0035】図5は、図3に示した2つの磁気センサの配置の他の例を示す図で、(a)は斜視図、(b)は上面図である。本図に示す例では、円形の磁石501が回転軸502を中心として、白抜き矢印の方向に回転する。2つの磁気センサ101及び111は、支持部材500に取り付けられて、磁石501の円周の直上に配置されている。

【0036】ここで、磁気センサ101及び111の感磁軸は、共に回転軸502と一致している。また、回転軸502に対する垂線のうち、磁気センサ101の略中心を通る垂線503と、磁気センサ111の略中心を通る垂線504とは、ほぼ直角をなしている。

【0037】次に、再度図3を参照し、上記のように構成されたデジタル角度測定システムの動作について説明する。アンプ102及び112は、それぞれ磁気センサ101及び111から出力されるアナログ信号値を受け取り、これをアナログ-デジタル(A/D)変換器103及び113が受け取り可能な電圧に増幅する。A/D変換器103及び113は、それぞれアンプ102及び112からのアナログ信号値をデジタル信号値に変換する。

【0038】比率演算部104は、A/D変換器103

8

及び113から出力されたデジタル信号値の除算を行い、2つのデジタル信号値の比率を求める。角度演算部105は記憶装置106に記憶された表を参照して、比率演算部104から出力された比率に対応する角度を求め、端子107に結果を出力する。

【0039】(第2実施形態) 上述の実施形態では、角度演算部が1つの入力値に対して記憶装置内の表のうちから1つの角度を取得する例について説明したが、1つの入力に対して表中の少なくとも2つのデータを取得し、これらのデータに基づいて直線補完、2次関数補完等の補完処理を行うことにより出力値を求めることとしてもよい。

【0040】本発明のように、計算に関数を用いる代わりに表データを参照する方式の場合、表に格納するデータの細かさ、即ち表の分割量がそのまま計算精度を左右する。従って、精度の高い計算をするためには大量のデータを格納しなければならず、大量のメモリが必要となる。メモリ量の増加は、そのまま処理ICのコスト増加につながるため、好ましくない。

【0041】しかしながら、本発明による角度計算の場合には、ミクロにみれば表に格納すべきデータがほぼ単調な変化をする特性を有する。そこで、本実施形態では、図3のデジタル角度測定システムにおいて、記憶装置106に記憶する格納データを最小限に留めておく。そして、角度演算部105では、データ間を計算で補完して、比率演算部104から出力された比率に対応する角度を求める。これにより、回転角変位データを記憶した記憶装置のメモリ量等を少なくしながら、求める回転角度の精度を高く保つことが可能となる。

【0042】実際に、角度0.01度の精度を出すために1回転全てのデータを格納すると、表は36000組のデータを必要とするが、一番単純な直線補完でも、1度~2度おきに表を用意しておけば0.01度の精度を保つことができた。従って、表に格納するデータ量は、一気に数百分の1に減少した。

【0043】以下、本発明の実施例について説明する。

【0044】

【実施例】(実施例1) 本発明を適用したデジタル角度測定システムにおいて、2つの磁気センサからの出力の比率 $Y/X$ を用いて $\theta = \arctan(Y/X)$ を求めた場合、どの程度の誤差が発生するかを確かめた。

【0045】図6は本発明を適用したデジタル角度測定システムの斜視図、図7はデジタル角度測定システムを図6中矢印A方向から示したものである。磁石602及び603は、一定の間隔 $U=11\text{mm}$ をあけて、回転台601上に、この回転台の中心に対して対称的に固定した。本実施例では、共に縦 $S \times$ 横 $S \times$ 幅 $T=30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 6\text{mm}$ のSmCo磁石を使用した。一方、磁気センサ101及び111は互いにほぼ直交する磁界を測定するように磁石602及び603の間に固定された

(6)

9

ホール素子である。本実施例では、旭化成電子株式会社製のHG302Bを使用した。このような構成をとることにより、ホール素子604及び605は、回転台601と共に矢印V方向に回転する磁石602及び603が生成する磁界に基づいて、角度を計測することができる。

【0046】まず、角度演算部105において、 $0 \leq$  \*

Y/X	0.0000	0.0002	0.0003	0.0005	0.0007	0.0009	0.0010	0.0012
$\theta$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07

Y/X	0.4646	0.4648	0.4650	0.4652	0.4655	0.4657	0.4659	0.4661
$\theta$	24.92	24.93	24.94	24.95	24.96	24.97	24.98	24.99

Y/X	0.9958	0.9962	0.9965	0.9969	0.9972	0.9976	0.9979	0.9983
$\theta$	44.88	44.89	44.90	44.91	44.92	44.93	44.94	44.95

Y/X	0.9986	0.9990	0.9993	0.9997	1.000
$\theta$	44.96	44.97	44.98	44.99	45.00

【0048】また、2枚の磁石602及び603を、角度精度が0.002度の回転台601上に固定し、0.01度ずつ回転させて、それぞれの位置で2つのホール素子604及び605からの出力を測定した。磁石中心付近の磁場強度は、約192mTである。ホール素子に3.0Vの定電圧を印加して、出力を計装用アンプで増幅してから、入力レンジ±2.5Vの16ビットA/Dコンバータ2チャンネルでデータをデジタル化した。A/Dコンバータのサンプリング周波数は200KHzであり、ホール素子(HG302B)のバイアス電流端子(2本)とホール電圧測定端子(2本)が約10msecおきに入れ替わるような「90度ローテーション回路」を通して信号を増幅している。

10

\*  $(Y/X) \leq 1$  の範囲で  $Y/X$  を1000等分し、これに応じた  $\theta = \arctan(Y/X)$  の値を倍精度の浮動小数点演算で求めた理論値の表1を作成し、回転角変位データとして記憶装置106に記憶した。

【0047】

【表1】

※【0049】図8は、90度ローテーション回路を概念的に示す図である。ホール素子800の感磁軸は紙面に垂直であり、その内部では端子1と端子2とが接続され、また端子3と端子4とが接続されている。まず、図8(a)に示すように端子1及び2を通じて電流Iを流し、紙面を貫く磁束により端子3及び4の間に発生する電圧  $V_{out}(0deg)$  を測定する。次に、図8(b)に示すように端子3及び4を通じて電流Iを流し、端子1及び2の間に発生する電圧  $V_{out}(90deg)$  を測定する。端子間電圧  $V_{out}(0deg)$  及び  $V_{out}(90deg)$  は、ホール電圧  $V_H$  及びホール素子800のオフセット電圧  $V_{off}$  を用いて、以下のように表すことができる。

$$V_{out}(0deg) = V_H + V_{off}(0deg) \quad (3)$$

$$V_{out}(90deg) = V_H + V_{off}(90deg) \quad (4)$$

ここで、 $V_{off}(0deg)$  及び  $V_{off}(90deg)$  は、

$$V_{off}(0deg) = -V_{off}(90deg) \quad (5)$$

の関係がある。従って、 $V_H$  は以下の式により求められる。

$$\begin{aligned} [V_{out}(0deg) + V_{out}(90deg)] \div 2 \\ = V_H + [V_{off}(0deg) + V_{off}(90deg)] \div 2 \\ = V_H \end{aligned} \quad (6)$$

【0050】その後は、記憶装置106に予め記憶した表1を参照して、回転角度を測定した。

【0051】また、表2に示すように、比率演算部104への入力X及びYの符号と、絶対値の大小関係とを考慮して、±180度を8等分した45度区間の各々に表

1を対応させることにより、全周に亘った角度測定を行った。

【0052】

【表2】

(7)

11  
(表1の利用方法)

	$ X  \geq  Y $	$ X  <  Y $
$X \geq 0, Y \geq 0$	表1のまま $Y/X$ を表の入力に使い、 $\theta$ を出力とする。 ( $0 \leq \theta < 45$ )	表1で、 $Y/X$ の代わりに $X/Y$ を使い、 $90 - \theta$ を出力とする。 ( $45 \leq \theta < 90$ )
$X < 0, Y \geq 0$	表1で、 $Y/X$ の代わりに $ Y / X $ を使い、 $90 + \theta$ を出力とする。 ( $90 \leq \theta < 135$ )	表1で、 $Y/X$ の代わりに $ X / Y $ を使い、 $180 - \theta$ を出力とする。 ( $135 \leq \theta < 180$ )
$X < 0, Y < 0$	表1で、 $Y/X$ の代わりに $ Y / X $ を使い、 $180 + \theta$ を出力とする。 ( $180 \leq \theta < 225$ )	表1で、 $Y/X$ の代わりに $ X / Y $ を使い、 $270 - \theta$ を出力とする。 ( $225 \leq \theta < 270$ )
$X \geq 0, Y < 0$	表1で、 $Y/X$ の代わりに $ Y / X $ を使い、 $270 + \theta$ を出力とする。 ( $270 \leq \theta < 315$ )	表1で、 $Y/X$ の代わりに $ X / Y $ を使い、 $270 - \theta$ を出力とする。 ( $315 \leq \theta < 360$ )

【0053】このデジタル角度測定システムを使用した角度測定における実際の測定誤差を図9に示す。また、比較例として、従来例における磁気センサ1個を使用した角度測定の測定誤差を図10に、従来例における磁気センサ2個から $\tan \theta$ を求めた角度測定の測定誤差を図11に示す。図9～図11に示すように、本実施例における測定値の誤差は、従来例と比べて格段に優れていることが分かる。

【0054】(実施例2) 表1及び表2を用いて角度 $\theta$ を求めたときの誤差は、 $X$ 及び $Y$ が十分な精度で測定できれば理論的には $\pm 0.005$ 度であることが容易に理解できる。しかし、現実には磁石にばらつきがあり、理想通りの磁場分布は得られないし、2つのホール素子の相対角度もほぼ直角にすることはできるが、 $90.00^\circ$  \* 30

$$1 \text{ 番目の素子の出力 } X = \cos(\theta - \alpha/2) \quad (7)$$

$$2 \text{ 番目の素子の出力 } Y = \sin(\theta + \alpha/2) = \sin(\theta - \alpha/2) \cdot \cos(\alpha) + \cos(\theta - \alpha) \sin(\alpha) \quad (8)$$

であるから、

$$\theta = \arctan \left[ \{ (Y/X) - \sin(\alpha) \} / \cos(\alpha) \right] + \alpha/2 \quad (9)$$

で表される。即ち、角度( $\alpha$ )さえ必要十分な正確さで測定しておけば、ホール素子の出力( $Y/X$ )に対する磁石回転角度( $\theta$ )の表は正確に作成できる。この式を用いて改めて倍精度の浮動小数点演算を行って作成され

\* 度と表されるような十分に高い精度で配置することはできず、回転中心のずれなどの機械的な精度の限界も加わるため、上述した実施例では計算から理論上予測される角度誤差よりも大きな誤差を生じてしまう可能性がある。実際、図9に示すように、上述した実施例における測定値の誤差は理論的な測定誤差よりも大きい。

【0055】そこで、本実施例では、シミュレーションによる計算で求めた数値を記憶装置に記憶させた。即ち、改めて2つのホール素子の感磁面同士がなす角度を正確に測定して、この実測値を $90 + \alpha$ 、即ち2つの素子の角度がそれぞれ $\pm \alpha/2$ ずれていると考えた上で2つの素子の出力比を計算し、このズレを補償した。

【0056】磁石の回転角度( $\theta$ )は、

た回転角変位の表を表3に示す。

【0057】

【表3】

40

(8)

13

Y/X	0.0074	0.0076	0.0078	0.0079	0.0081	0.0083	0.0085	0.0086
$\theta$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07

14

Y/X	0.4704	0.4706	0.4708	0.4710	0.4712	0.4715	0.4717	0.4719
$\theta$	24.92	24.93	24.94	24.95	24.96	24.97	24.98	24.99

Y/X	0.9959	0.9962	0.9966	0.9969	0.9973	0.9976	0.9979	0.9983
$\theta$	44.88	44.89	44.90	44.91	44.92	44.93	44.94	44.95

Y/X	0.9986	0.9990	0.9993	0.9997	1.000
$\theta$	44.96	44.97	44.98	44.99	45.00

【0058】本実施例では、実施例1で説明したデジタル角度測定システムを使用し、表3を記憶装置106に記憶させて角度測定を行った。図12は、本実施例における測定角度誤差を示す図である。本図に示すように、ホール素子間の角度のズレを補償することにより、更に測定精度が高められていることが分かる。

【0059】（実施例3）図12に示す測定誤差は、主に磁場の不均一に起因するものであるが、磁場均一性を保つために個別に磁石を調整するのは現実的ではない。この誤差量でも従来例と比べれば充分よいと言えるが、更により精度を求めるときには、上記構成で測定したホール素子の出力値の比率を誤差も含めて表にすればよい。

【0060】そこで、本実施例では、角度の情報としては既知の前記磁気センサの出力に基づいて求められた情報を使用した。即ち、本実施形態に係るデジタル角度測定システム100の実測値の他、何等かの磁気センサの実測値に基づき、磁石の形状や温度特性等を考慮してシミュレーションを行った計算値を使用した。

【0061】この場合、一度正確に回転角度とホール素子出力の関係を実測して、これを基に表を作成しておき、実際に回転角度を測定するときはこの表を参照する。これにより、非常に正確な回転角度を測定できる。本実施例のように、磁場の不均一など個別に異なるデータまで用いて表を作成する場合、 $\pm 45$ 度分の回転角度を測定するためには $\pm 45$ 度分の表が必要である。これは、 $-45$ 度 $\sim 0$ 度の表と $0$ 度 $\sim 45$ 度の表が表1のように対称にはならないからである。従って、デジタル角度測定システムが $360$ 度の回転角度を測定するシステムであれば、 $360$ 度分の表を用意する。

【0062】このように作成された回転角変位の表の例を表4に示す。表4を参照して求めた回転角度の誤差は、表を作ったときの $Y/X$ の間隔に依存しており、本実施例では、 $Y/X$ を $0.01$ 刻みで計算したため、測定角度の誤差は $360$ 度全周で $\pm 0.03$ 度であった。

【0063】

【表4】



(9)

15

16

Y/X	-1.000	-0.999	-0.998	-0.997	-0.997	-0.996	-0.995	-0.994
$\theta$	-44.99 4	-44.96 5	-44.93 6	-44.90 4	-44.87 2	-44.84 0	-44.80 9	-44.7 79

Y/X	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007
$\theta$	-0.002	0.054	0.115	0.145	0.203	0.263	0.321	0.384

Y/X	0.459	0.460	0.461	0.462	0.463	0.464	0.465	0.466
$\theta$	24.634	24.692	24.750	24.778	24.835	24.893	24.938	24.978

Y/X	0.988	0.989	0.990	0.991	0.992	0.993	0.994	0.995
$\theta$	44.642	44.671	44.702	44.729	44.760	44.788	44.817	44.845

Y/X	0.996	0.997	0.998	0.999	1.000
$\theta$	44.875	44.903	44.932	44.962	45.991

【0064】（実施例4）上述した実施例では磁石が生成する磁界内における回転角度を測定する場合について説明したが、上述の各実施例で説明したデジタル角度測定システムから磁石を除去することにより、任意の外部磁界に対する磁気センサを取り付けた部材の基準位置からの角度を測定することができる。

【0065】例えば、地磁気に基づいて回転角度を測定するデジタル角度測定システム（方位センサシステム）の場合、図13に示すように、ホール素子604及び605の各感磁面と直交する付加的なホール素子1301を追加する。そして、この3個のホール素子を、感磁面同士のなす角度を保持しながら、2軸の回転に相当する3次元的な回転をさせる。

【0066】このような2軸回転の場合、空間の3本の直交軸（X、Y、Z）に相当する3個の磁気センサの出力値の比に基づいて回転角変位のデータを作成する。そして、作成されたデータを使用して1軸回転と同様に角度測定を行うことにより、空間での回転角度を算出することが可能である。ここで、磁気センサの出力値の比は、いずれか1個の出力値を基準＝1とした比でもよく、あるいは基準位置における磁気センサからの出力値のベクトル合成を基準とした場合の各ベクトルの比でもよい。

【0067】これにより、地磁気に基づいて3次元の方位や回転角を測定することが可能となる。

【0068】以上、本発明の好適な実施の形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限らず、他の種

々の形態で実施できることはいうまでもない。例えば、上述の実施形態では2個または3個の磁気センサを用いた例について説明したが、4個以上の磁気センサを使用することも可能であることはいうまでもない。例えば、回転軸に対して、軸対称の位置に90度おきに4個の磁気センサが配置された構成とすることができる。この場合、回転中心に対して対称位置にある2個の磁気センサの差分をとった上で、90度異なる2個の磁気センサからの出力値の差分との比を求めて、回転角度の計算に使用することができる。

【0069】また、複数の磁気センサから選択した2個以上の磁気センサからなるグループの出力値に基づいて角度測定を行うこととしてもよい。この場合、それぞれのグループについて出力値の平均等の計算値を求め、この計算値同士の比率を計算して対応する角度を記憶装置から抽出する。

【0070】更に、各センサの出力信号には、測定対象の磁束密度に比例する信号以外に、オフセットを含むことが多いので、計測された各センサ出力値から所定のオフセット値を減算してから、比を取るような処理を行う。

【0071】加えて、各センサの磁束に対する感度がばらついている場合には、この感度補正パラメータを各センサごとに乗算し、感度の違いが影響しないように比をとるよう計算してもよい。

【0072】また、磁気センサの感磁軸同士がなす角度は直交している必要はなく、互いに所定角度を保持して

(10)

17

いればよいことはいうまでもない。例えば、45度おきに3個または4個の磁気センサを配置し、回転角度に応じて、これらの磁気センサのうちから出力値の比をとる組み合わせを切り替えることとしてもよい。

【0073】これにより、回転角変位データを記憶した記憶手段のメモリ量等を更に少なくしながらも、求める回転角度の精度を高く保つことが可能となる。

【0074】更に、本発明を適用したデジタル角度測定システムを構成する磁気センサとしては、ホール素子の他に、MR (Magnetic Resistance) 素子、MI (Magnetic Impedance) 素子、及びフラックスゲート等を使用することができる。

【0075】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、角度を直接数値のデジタル情報として提供することが可能となるので、磁気センサや磁石の温度特性の影響をほとんど受けることなく、磁界に対する角度の測定精度を向上させることができる。

【0076】また、入力X及びYの符号と大小関係を条件に判断すれば、同じ精度を維持しながら±180度の範囲で位置を測定することが可能となる。

【0077】更に、実際にデータを格納するより遙かに少ないデータ量で、計算精度を落とさないデータ処理が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来例における2つのセンサの出力を除算した値を示す図である。

【図2】三角関数を直線で近似する計算の例を示す図である。

【図3】本発明を適用したデジタル角度測定システムの一例を示す構成図である。

【図4】図3に示した2つの磁気センサの配置の一例を概念的に示す図で、(a)は斜視図、(b)は正面図で

18

ある。

【図5】図3に示した2つの磁気センサの配置の一例を概念的に示す図で、(a)は斜視図、(b)は上面図である。

【図6】本発明を適用したデジタル角度測定システムの斜視図である。

【図7】本発明を適用したデジタル角度測定システムを図6中矢印A方向から示した図である。

【図8】90度ローテーション回路を概念的に示す図である。

【図9】実施例1のデジタル角度測定システムを使用した角度測定における実際の測定誤差を示す図である。

【図10】従来例における磁気センサ1個を使用した角度測定の測定誤差を示す図である。

【図11】従来例における磁気センサ2個から $\tan \theta$ を求めた角度測定の測定誤差を示す図である。

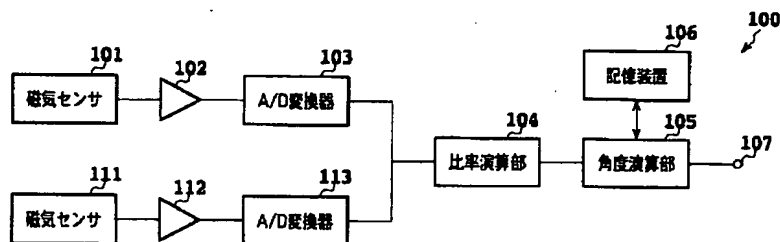
【図12】実施例2のデジタル角度測定システムを使用した角度測定における実際の測定誤差を示す図である。

【図13】本発明を適用したデジタル角度測定システムの斜視図である。

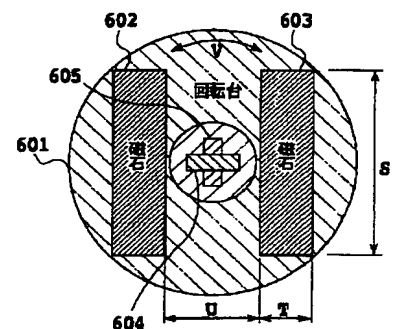
【符号の説明】

- 1、2、3、4、107 端子
- 100 デジタル角度測定システム
- 101、111 磁気センサ
- 102、112 アンプ
- 103 A/D変換器
- 104 比率演算部
- 105 角度演算部
- 106 記憶装置
- 400、500 支持部材
- 401、501、602、603 磁石
- 601 回転台
- 604、605、800、1301 ホール素子

【図3】

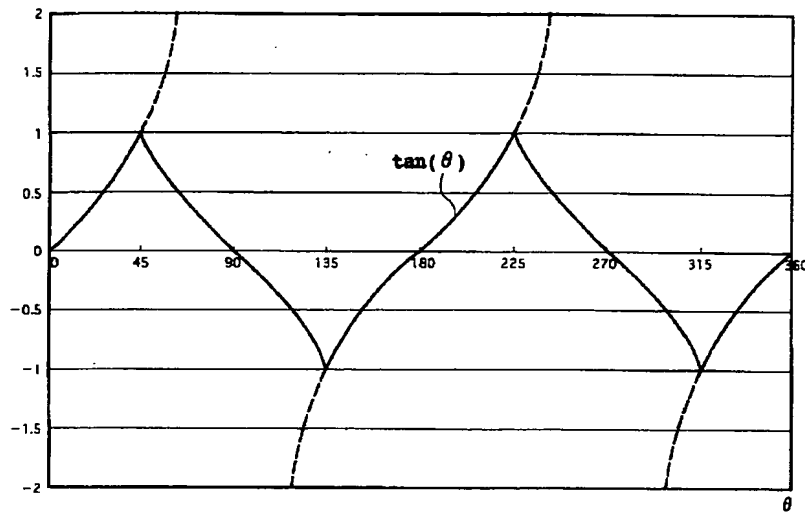


【図7】

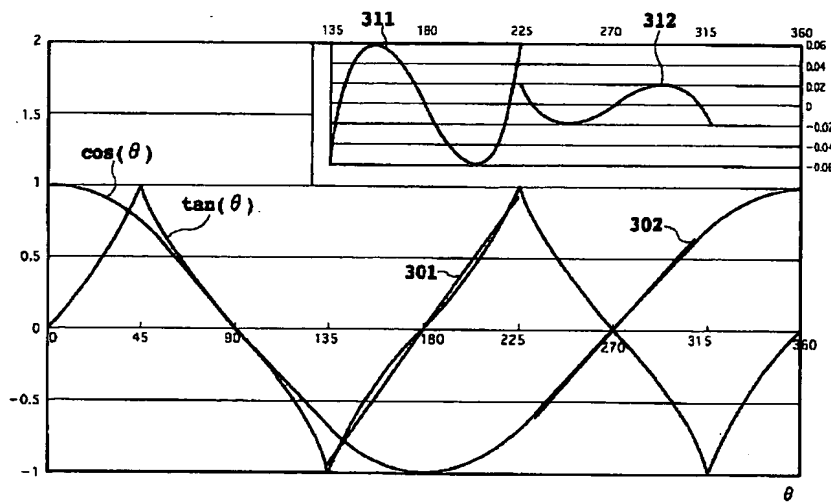


(11)

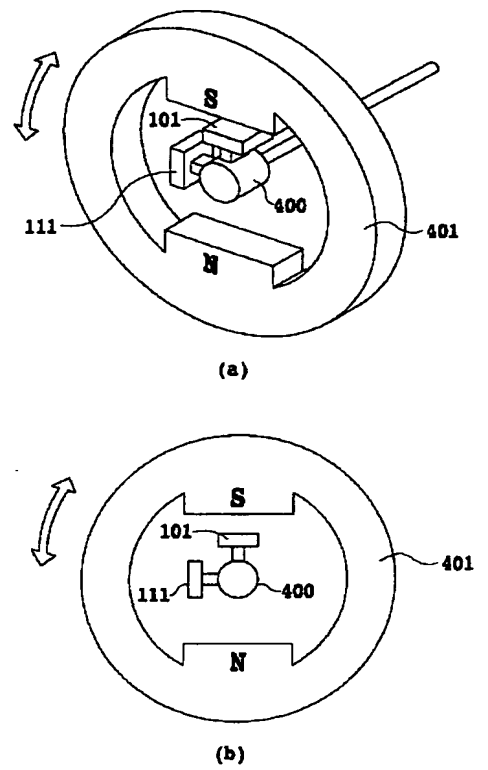
【図1】



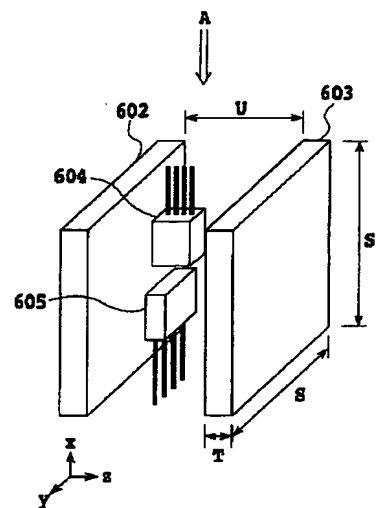
【図2】



【図4】

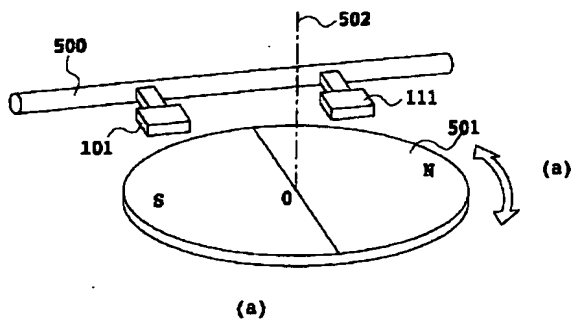


【図6】

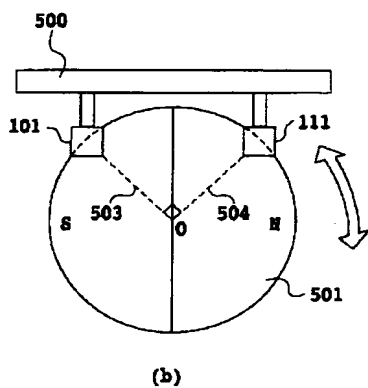
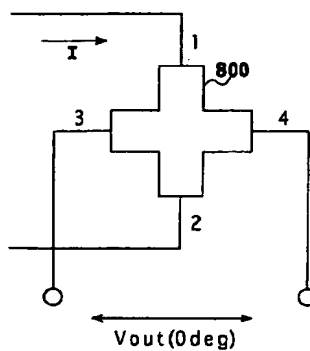


(12)

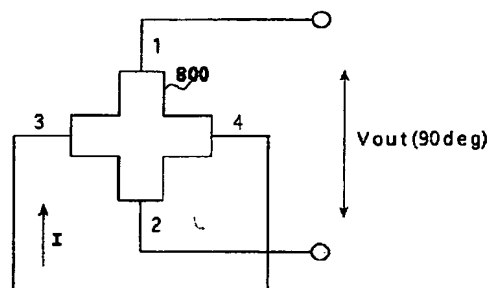
【図5】



【図8】

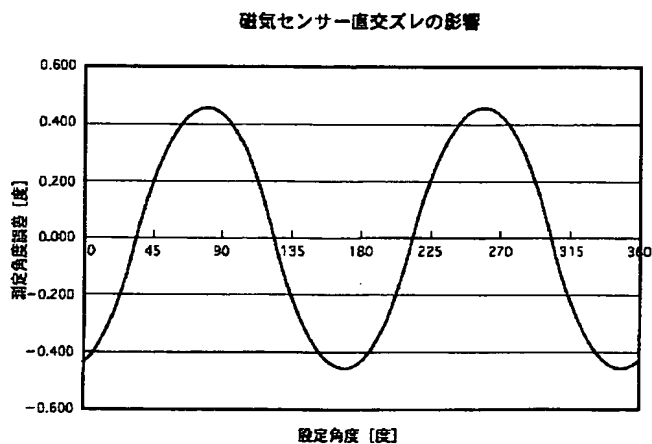


(b)

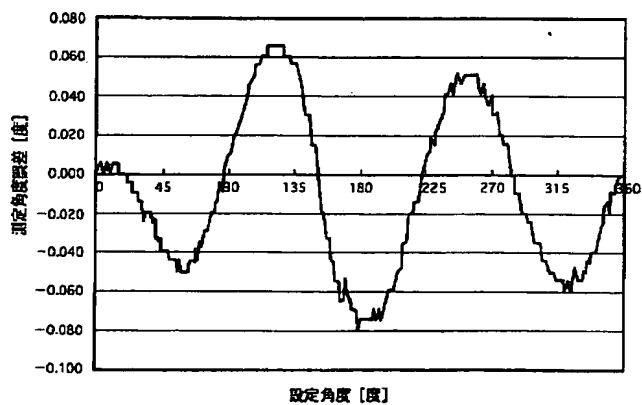


【図12】

【図9】

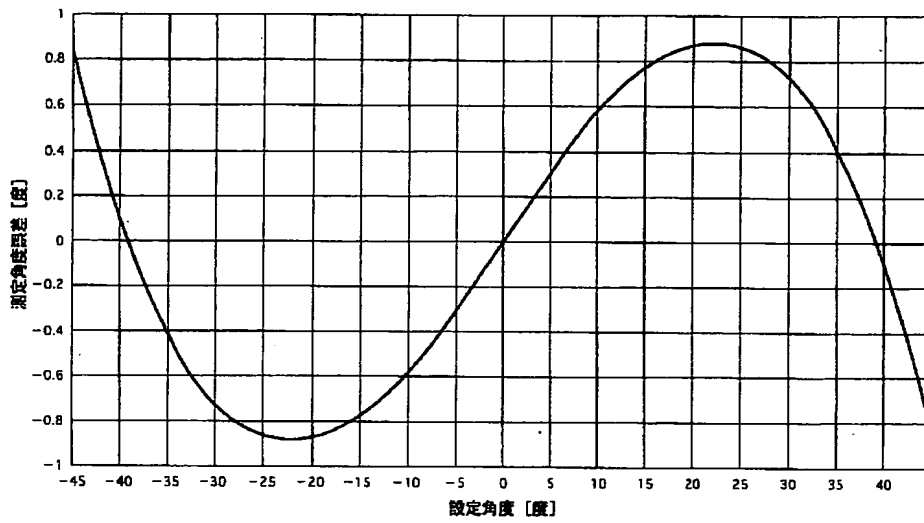


角度測定誤差

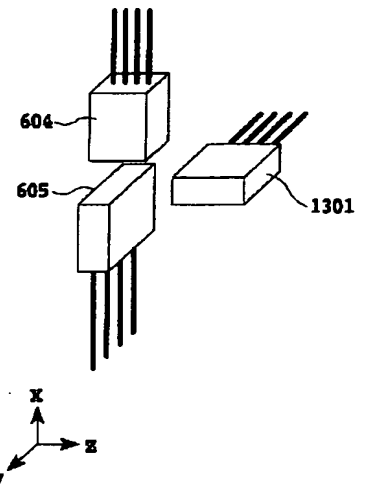


(13)

【図10】



【図13】



【図11】

